

Samuel Mora
Adrián Ludeña
Guillermo Martorell



Definición 3

Arquitectura del sistema LZB 4

Componentes del sistema 4

Central LZB 4

Equipos instalados en tierra 5

Bucles y cable de vía 5

EAD Equipo de alimentación a distancia 6

Equipos instalados en vehículo 8

Sistema de ordenadores 8

Antenas 8

GIR Generadores de Impulso de Recorrido 8

GAF Grupo Accionamiento de Freno 9

Equipo de prueba funcional 9

AICC Aparato Indicador en Cabina de Conducción 9

Panel de indicaciones ópticas 9

Interruptores basculantes de pupitre de conducción 10

AIDT Aparato de Introducción de datos del Tren 10

Información procesada y enviada por la central LZB 11

Información procesada y enviada por el vehículo 13

Datos del tren / Datos variables 13

Funcionalidades del sistema LZB 15

Control de la posición del tren 15

Información al maquinista de la velocidad de circulación 15

Comunicación VÍA <> TREN: 16

Cálculo de curvas de frenado y supervisión de velocidad 16

Otras funcionalidades de ayuda a la explotación 17

Implementación de sistemas de conducción autónoma 17

Justificación de la instalación del sistema LZB 18

Selección del sistema en el pasado 18

Realidad actual: 19

Migración del sistema LZB al sistema ERTMS/ETCS-2 19

Usuarios e instalaciones LZB 20

LZB en principales redes ferroviarias principales 20

Alemania (DB) 20

Austria (ÖBB) 20

España (Adif) 21

LZB en redes urbanas 22



1. Definición

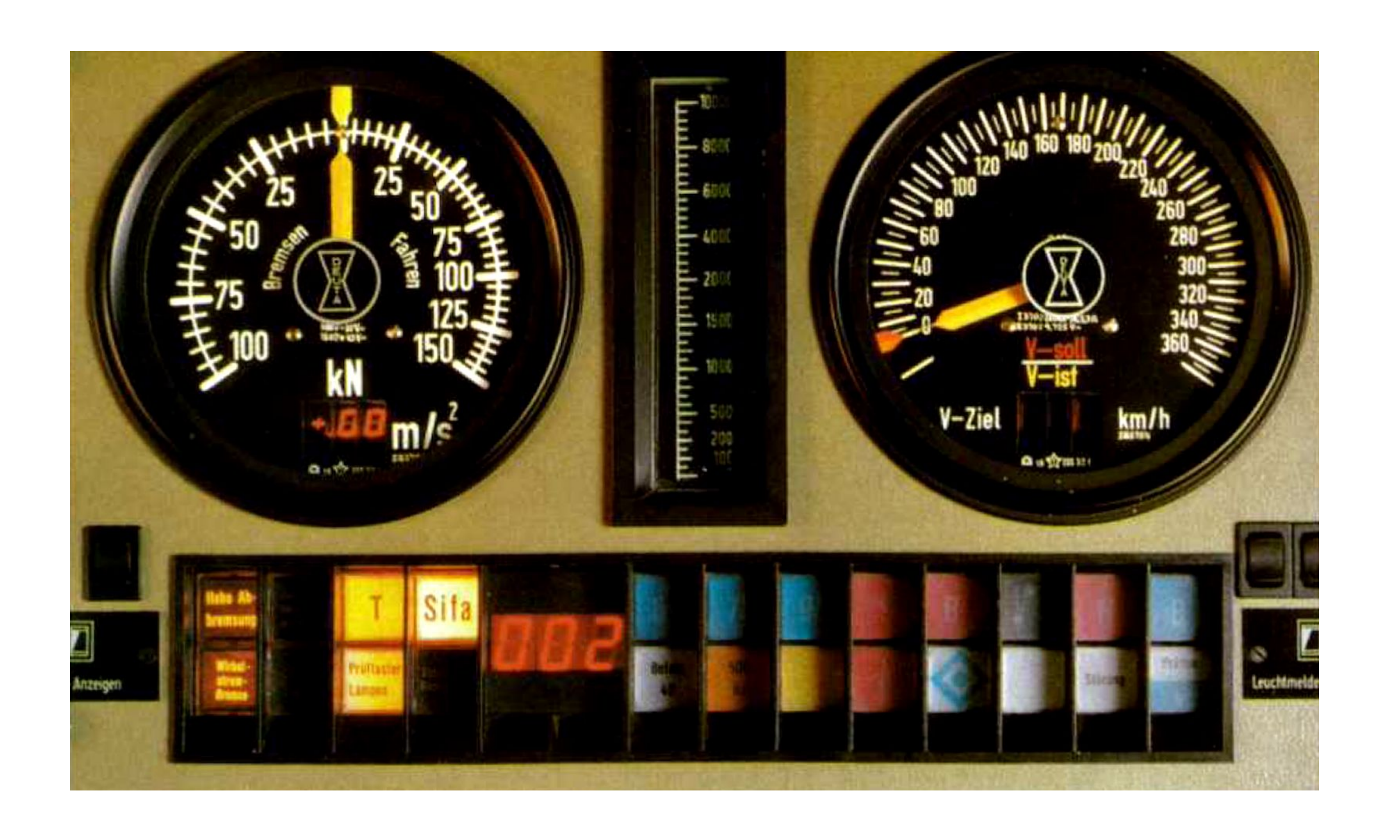
Las iniciales **LZB** proviene del alemán Linienzugbeeinflussung. La traducción literal es influencia lineal sobre el tren, aunque el significado se refiere a un **sistema de control continuo sobre el tren**, desde la vía.

Se trata entonces de un sistema de protección del tren, de transmisión continua de información y supervisión continua de la velocidad del vehículo.

El sistema realiza dos funciones principales: por un lado **informa al maquinista de magnitudes para el manejo del tren** relacionadas con la distancia y velocidad; y por otro lado **controla la velocidad máxima permitida del vehículo** mediante la aplicación automática de freno en caso de sobrepasar dicha velocidad establecida. Como podemos observar, **el sistema LZB no conduce de forma automática el vehículo** si no que esta función queda a cargo del maquinista.

La comunicación que realiza el sistema es bidireccional entre tierra y tren (*Central LZB* y *vehículos*).

- En castellano se ha denominado al sistema como CAT *Conducción Automática de Trenes*; en mucha documentación divulgativa sobre el sistema se aplican estas siglas que sin embargo son erróneas, ya que en si el sistema LZB / CAT no proporciona automatización de la conducción sino vigilancia sobre ella : la regulación de la velocidad del vehículo la ejecuta el maquinista. La denominación correcta a las siglas CAT es *Conducción Asistida de Trenes*.





2. Arquitectura del sistema LZB

2.1. Componentes del sistema

El sistema LZB está formado por dos elementos básicos (la *central* y el tren *o vehículo*) enlazados mediante una serie de elementos en el campo y via (equipos de tierra). Por lo tanto los componentes son:

- ➜ **Centrales LZB**
- ➜ **Equipos de tierra**
- ➜ **Equipo de vehículo**

Ejemplo de arquitectura del sistema LZB instalado en la línea Madrid-Sevilla. Se destacan en naranja las partes intrínsecas al sistema. Documento RENFE 1992.

2.1.1. Central LZB

Es el elemento básico del sistema LZB.

Consta de tres ordenadores que trabajan constantemente en paralelo procesando la misma información. Además, comparan los valores de salida constantemente, por lo que **cuando uno de los tres ordenadores entra en discrepancia con los otros dos o se avería, se desconecta automáticamente** detectado por mayoría de dos contra uno.

La central se encarga de identificar a cada tren, y generar y enviarles una serie de órdenes, principalmente las denominadas *Magnitudes guía de conducción*.

Los inputs de información con los que trabaja proceden de:

- ➜ **Una memoria interna**
- ➜ **Vehículos en funcionamiento en la línea.**
- ➜ **De los enclavamientos electrónicos (*ENCE*) de la línea.**

Que se detallaran en el apartado -2.1.4 Información procesada y enviada por la central LZB-.

De forma habitual cada *central LZB* controla entre 30-35km de vía doble (70km de vía desarrollada) o incluso 60km de vía doble (120 km de desarrollo lineal, LAV Madrid-Sevilla, 1992). Cada central gobierna tanto los trayectos en plena vía como las estaciones.







Superior: Interior de un PLO *Puesto Local de Operaciones* de la línea Madrid-Sevilla. Podemos observar a la derecha los tres ordenadores que conforman la *central LZB*. los módulos de la derecha corresponden a un ENCE enclavamiento electrónico, independientes del sistema LZB pero relacionados con él. Revista *Vía Libre*, marzo de 1990.
Inferior: exterior de un PLO / central LZB. Foto autores.

2.1.2. Equipos instalados en tierra

La función de los equipos de tierra es la transmisión de la información desde la central LZB hasta el vehículo. En tierra encontramos los siguientes equipos:

A. Bucles y cable de vía

Permiten la transmisión de la señal procedente de la *central LZB* a los vehículos que se encuentran en movimiento. Dicha transmisión se realiza mediante un par de cables de alta frecuencia, denominados *cable de vía* y que se comportan como una antena inductiva que emite y recibe las señales entre tierra y vehículo. Cada cable de vía está formado por un alma de hilos de cobre, recubiertos con una funda aislante de PE y una cubierta exterior protectora de PVC. El conjunto tiene unos 13mm de diámetro aproximadamente.



Vista de un bucle de los cables de vía. Se observa el situado en el eje de la vía y el instalado sobre el patín del carril. Se observa además el punto de cruce entre ambos cables formando los lazos de 100m. Foto *Vía Libre*, Marzo de 1990.

El cable se configura como un lazo de 300 m de longitud en vía aproximadamente. Este valor asegura la fiabilidad y seguridad del sistema, si bien teóricamente se pueden instalar bucles de hasta 48km. En la parte central de cada bucle se inyecta la señal mediante el equipo EAD *Equipo de Alimentación a distancia* (explicado más adelante) y cerrando los extremos libres



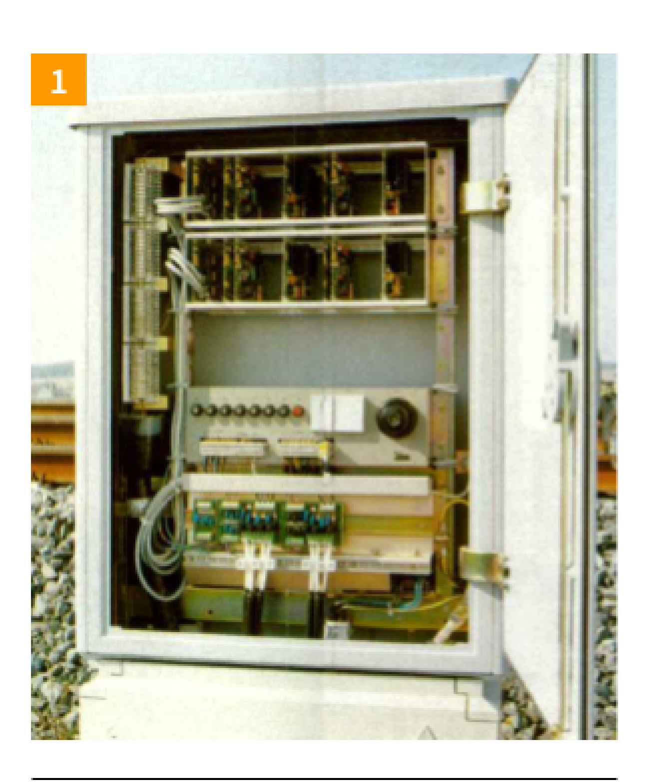
mediante sendos CTB *Caja de terminación de Bucle de cable de vía*. Los *EAD* y *CTB* como son compartidos con los bucles contiguos instalados en la vía, si bien los *bucles* son físicamente independientes entre sí.

Uno de los *cables de vía* se instala en el eje de la vía, sobre las traviesas; el otro sobre el patín de uno de los carriles. Por razones de equilibrado electromagnético y para la localización del vehículo (como se explica en 2.1.5 Información procesada y enviada por el vehículo) , a lo largo del bucle y cada 100 m, los cables se intercambian de posición cruzándose.

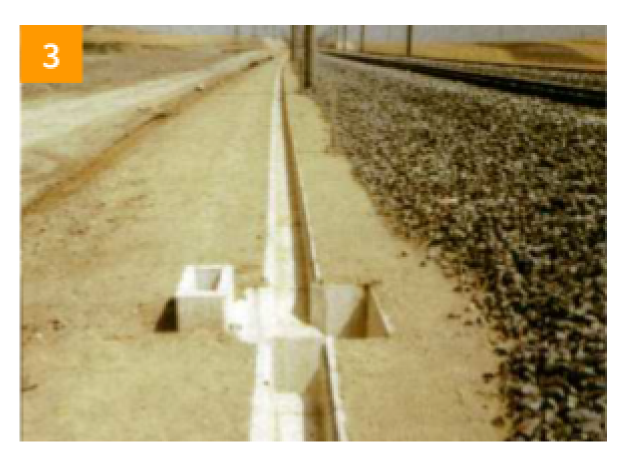
B. EAD *Equipo de alimentación a distancia*

Sirven para amplificar la señal procedente de la central LZB antes de enviarla al bucle. A cada *EAD* se conectan 2 bucles, por lo que 600m de vía dependen de un EAD. Según algunas fuentes también se denomina EID *Equipo de Intercambio de Datos con los trenes*.

Aproximadamente se conectan hasta 20 *EAD* a la misma Central LZB, formando secciones de aproximadamente 12-13 km en la línea. A este conjunto se le denomina *Sección de identificación*. Los extremos de dichas *Secciones* se denominan CDI *Cambio de Sección de Identificación* y constan de bucles especiales de principio fin. También se pueden encontrar *CDI* en los accesos a la línea.









1: Interior de una unidad amplificadora EAD / EID. Foto revista *Vía Libre 1990*.
2: Otra vista de un equipo EAD/EID. Se observa en su base la arqueta de conexionado al cable procedente de la *Central LZB*. La salida a la vía se efectúa detrás del EAD/EID. Documento *Sistem Sistemas y Montajes Industriales SA* 1992.
3: Arqueta de comunicaciones y alojamiento para EAD/EID, previo montaje. Documento *Sistem Sistemas y Montajes Industriales SA* 1992.



ESQUEMA DE INSTALACIÓN EN TIERRA *LZB*

carriles

cables de vía

cruzamiento

100 m

300 m

vía

CTB

EAD
EID

arqueta de comunicaciones

600 m

36 Khz

56 Khz

CTB

CTB

CTB

CTB

CTB

Cambio de Identificación de Zona

Cambio de Identificación de Zona

EAD
EID

EAD
EID

EAD
EID

36 Khz

56 Khz

Central LZB

~ 12 km



2.1.3. Equipos instalados en vehículo

El equipo embarcado está formado por:

A. Sistema de ordenadores

Sigue la misma filosofía que las centrales LZB, tres ordenadores que se encuentran funcionando permanentemente y procesando la misma información en paralelo. Además, comparan los valores de salida constantemente, por lo que **cuando uno de los tres ordenadores está en discrepancia con los otros dos o se avería, se desconecta automáticamente** detectado por mayoría de dos contra uno.

En este caso degradado, si falla uno de los dos ordenadores restantes y solo queda uno en servicio, el equipo queda fuera de servicio no siendo posible la explotación del vehículo.

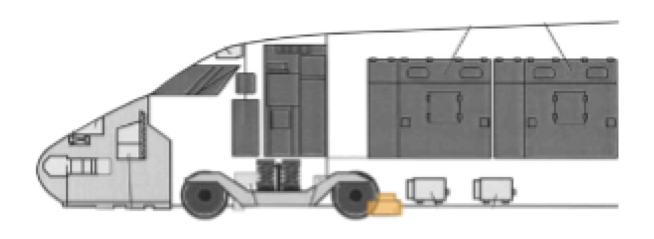


Ejemplo de armario LZB donde van instalados los ordenadores del sistema embarcado, en este caso de una rama de la serie 100 de *renfe*. Captura tomada de vídeo, autor FernandoDM (youtube).

B. Antenas

Son dos juegos de antenas, estando compuesto cada juego de antenas emisoras y receptoras, necesarias por la naturaleza bidireccional de la transmisión de información. Se localizan en los bajos del tren, centrados sobre el eje de la vía y situados a una distancia tal que pueden captar la señal emitida por el *cable de vía*.

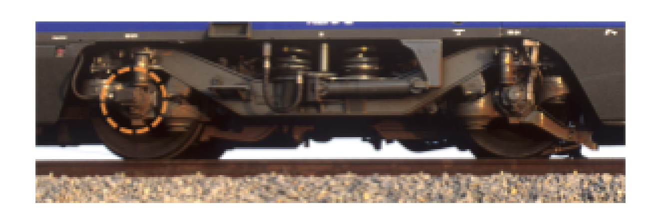
En explotación normal se utiliza uno de los dos juegos, quedando el otro de reserva en caso de fallo aumentando la fiabilidad. La selección de las antenas es automática al realizar la prueba funcional (véase -E. Equipo de prueba funcional-).



Situación tipo de las antenas emisoras-receptoras en una cabeza motriz equipada con el sistema LZB. Documento *Renfe operadora*.

C. GIR *Generadores de Impulso de Recorrido*

Son tacogeneradores instalados en cajas de grasa de los vehículos para mediciones de distancia y velocidad. Están asociados a una serie de ordenadores dedicados a bordo del vehículo, independientes del Sistema de ordenadores denominados central taquimétrica de módulos *ATESS* , que se





Superior: Detalle de un GIR instalado en una motriz de un tren de la serie 100 de renfe. Foto *Flickr* de *Renfe operadora*.
Inferior: Central taquimétrica modular *ATESS* de *Faiveley* asociada al *GIR*. Se muestra a efectos comerciales conexión para volcado de datos y módulo extraíble. Foto *Vía Libre*, noviembre de 1992.



encargan de calcular la velocidad real a partir de los impulsos del GIR. Implementan unidades de memoria de 4 a 8 Mbytes para almacenamiento a largo plazo y 60 kbytes para eventos recientes; la durabilidad de retención de dicha memoria está pensada para 100 años o 10000 ciclos de lectura-escritura.

D. GAF *Grupo Accionamiento de Freno*

Es un sistema montado sobre el propio sistema de freno del vehículo, que permite ejecutar un frenado de emergencia si así lo requiere la *central LZB*. En algunos vehículos es posible inhibir excepcionalmente mediante un grifo de aislamiento. Pueden existir vehículos sin GAF y su función la suplen directamente los propios sistemas de frenado del vehículo.

E. Equipo de prueba funcional

Permite ejecutar un test sobre el *software* y *hardware* del sistema embarcado, siempre previo a la puesta en servicio del equipo. Permite la conmutación automática de equipos en caso de avería por otro redundado si existen; en caso contrario indica la imposibilidad de iniciar la explotación con el vehículo en cuestión.

A continuación se listan los **elementos de servicio**, que son los diferentes interfaces existentes entre el sistema embarcado y el maquinista o personal de mantenimiento del vehículo.

A. AICC *Aparato Indicador en Cabina de Conducción*

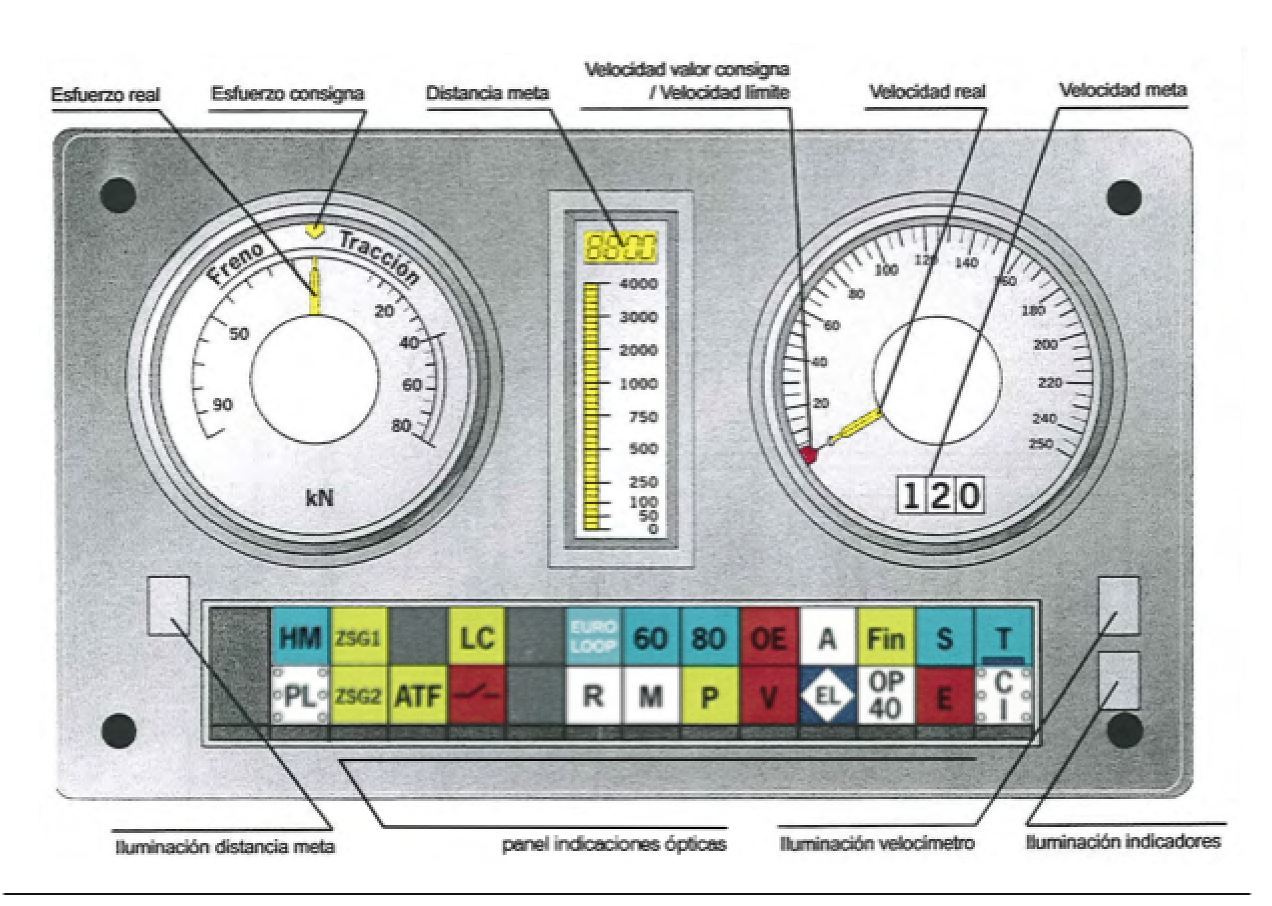
Es la principal interfaz utilizada entre el maquinista y el *equipo embarcado*. Se encuentra situado en el pupitre de conducción. Es el encargado de mostrarle al maquinista las *magnitudes guia de conducción* enviadas por la *central LZB* durante la conducción. se listan a continuación cómo se representan las magnitudes guía; el funcionamiento de dichas magnitudes se especifica en el apartado -2.1.4 Información procesada y enviada por la central LZB-.

- **Velocidad Real:** Representada en un indicador analogico circular, mediante una aguja blanca o amarilla situada en la parte interior de una escala en km/h, aumentando los valores en sentido horario. Suele compartir indicador con la magnitud guía *Velocidad Límite*.
- **Velocidad Límite o Consigna:** Representada en un indicador analogico circular, mediante una aguja roja situada en la parte exterior de una escala de km/h, aumentando los valores en sentido horario. Suele compartir indicador con la magnitud guía *Velocidad Real*.
- **Velocidad Meta:** Representada por un indicador de tres dígitos, en múltiplos de 10.
- **Distancia Meta:** Representada por un indicador de cuatro o cinco dígitos (siendo algunos de ellos fijos), y una escala graduada vertical en metros (entre 0 y 4000). En el caso de indicadores con cuatro dígitos, aunque el sistema visualmente transmita menos información internamente puede manejar datos de distancia de cinco dígitos.

B. Panel de indicaciones ópticas

Se encuentra normalmente integrado en el *AICC*, en el pupitre de conducción también, y consta de una serie de indicadores luminosos (algunos asociados a indicaciones acústicas emitidas por un altavoz integrado) destinados principalmente a dar indicaciones adicionales al maquinista relacionadas con la conducción.





Ejemplo de la interfaz módulo en cabina del AICC con las indicaciones ópticas. Documento *Renfe*.

C. Interruptores basculantes de pupitre de conducción

Están relacionados con órdenes de reconocimiento que debe realizar el maquinista ante ciertas indicaciones realizadas por el LZB desde el *AICC* o el *Panel de Indicaciones ópticas*. Normalmente suelen ser *Alertar*, *Liberar* y *Rebasar*.

D. AIDT *Aparato de Introducción de datos del Tren*

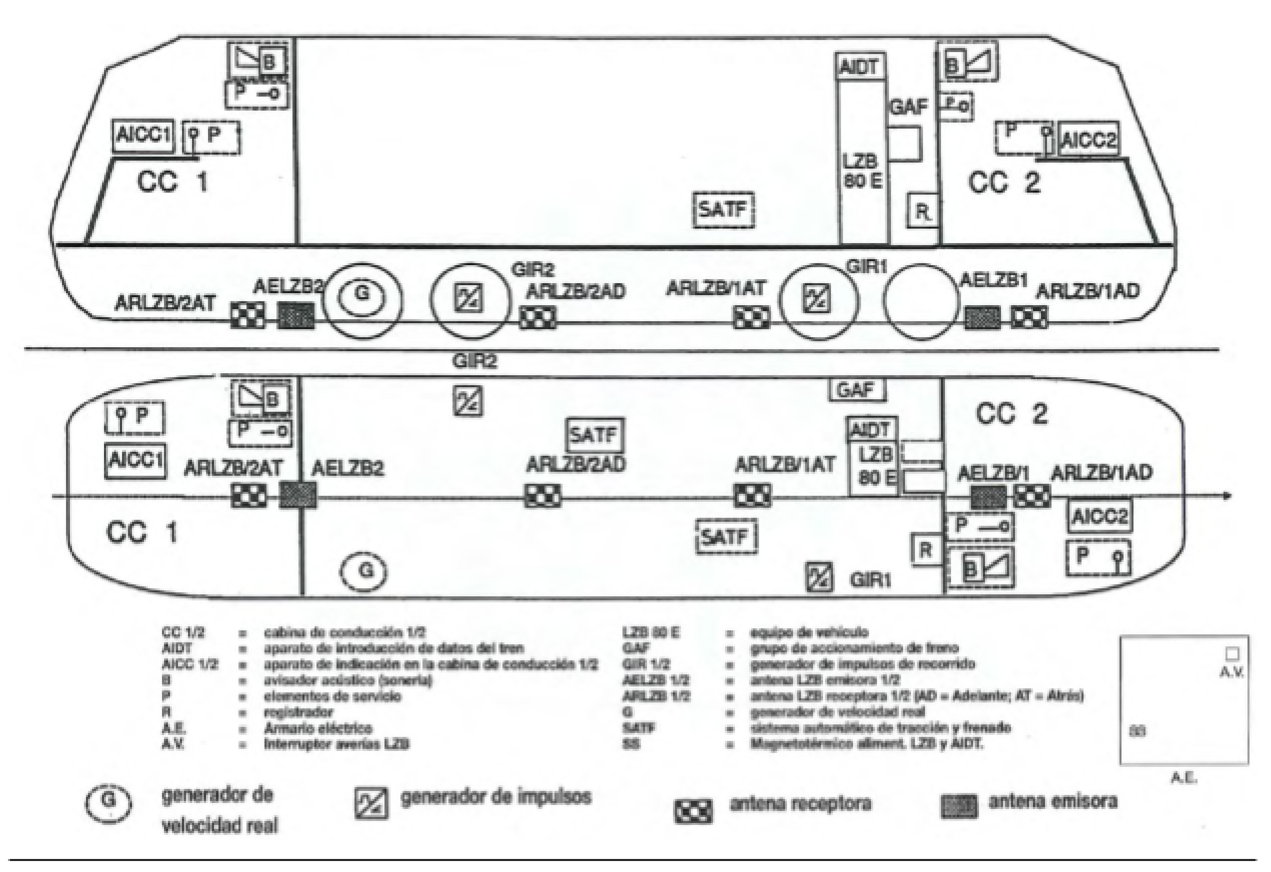
Es una interfaz que permite la introducción de los *Datos del tren*, parte de la información del vehículo enviada a la *central LZB* durante el servicio. En algunos vehículos está formado por una serie de conmutadores. Debido a que su manipulación debe realizarse antes de entrar el vehículo en servicio, no se encuentra directamente accesible desde el pupitre de conducción.



Ejemplo de interfaz AIDT en una locomotora. Documento *Renfe operadora*.

Además de todos los equipos anteriormente citados, existen otra serie de interfaces de interruptores, grifos o conmutadores, variables en función del vehículo y destinados a ajustar o anular funciones (configurar el tren en el sistema LZB) en función de particularidades del material móvil.





Ejemplo de instalación y disposición de equipos embarcados en una locomotora. Documento *Renfe Operadora*.

2.1.4. Información procesada y enviada por la central LZB

Como se ha comentado previamente en la descripción de la central, los equipos están procesando y enviando datos constantemente. La información enviada por la *central LZB* mediante los equipos de tierra es digital y se hace mediante telegramas de 83 bits a una velocidad de 1200 baudios y frecuencias en el entorno de los 36 kHz. El sistema tiene como límite la velocidad de transmisión de 34 Mbit/s de la fibra óptica instalada entre las *centrales LZB* y los *EAD*. Cada 0,8 segundos el tren recibe información, y si transcurren más de 3 segundos sin intercambio de telegramas se considera fallo de transmisión y el vehículo ejecuta sin estar conectado a la *central LZB* procedimientos de seguridad relacionados con la detención segura del vehículo.

La información manejada por la *central LZB* es la siguiente:

➜ **Memoria interna:** Es un **input.** Se trata de **datos fijos** preprogramados. Los principales son el perfil de línea (rampas, pendientes), limitaciones de velocidad fijas y situación física de las señales y los aparatos de vía.

➜ **Vehículos en funcionamiento en la línea:** Es **input** y **output**.

Los datos **input** procedentes de cada tren en servicio en el sistema se detallan en el apartado -2.1.5 Información procesada y enviada por el vehículo-, y **existen tanto fijos** (no se modifican durante el servicio) **como variables** (cambian en tiempo real).

Los datos **output** que envía la central LZB a los vehículos son las ya citadas **Magnitudes guía de conducción** (**datos variables** en tiempo real) y **Órdenes,** comandos adicionales en función del

contexto de la línea mientras que el vehículo la recorre (**datos fijos** normalmente, enviados al paso por zonas concretas).

a) Las **Magnitudes guía de conducción** enviadas son:

- **Velocidad Límite o Consigna:** Es la máxima velocidad permitida en cada momento.
- **Velocidad Meta:** Es la máxima velocidad permitida que existirá una vez rebasada (superada) la *Distancia Meta*, momento en el que pasa a ser *Velocidad límite o Consigna*.
- **Distancia Meta:** Es la distancia entre el vehículo y el punto en el que existe un cambio de velocidad, disminuyendo progresivamente en funcionamiento normal. A dicho punto de cambio se le denomina **Punto meta** y es provocado por características fijas del trayecto o la circulación de otros trenes delante.

❊ Como podemos observar, la *Magnitud de conducción Velocidad real* no aparece porque es generada por el vehículo, ver -2.1.5 Información procesada y enviada por el vehículo-.

b) Las **Órdenes** pueden ser, entre otras:

- **Cierre y apertura de trampillas del aire acondicionado:** Relacionado con problemática de cambios de presión al entrar en túneles.
- **Zona neutra:** Realiza desconexiones automáticas de los disyuntores al paso de zonas neutras en sistemas de electrificación en corriente alterna.
- **Bajada y subida de pantografos:** Baja o sube los pantógrafos de los vehículos si así es requerido durante el servicio.

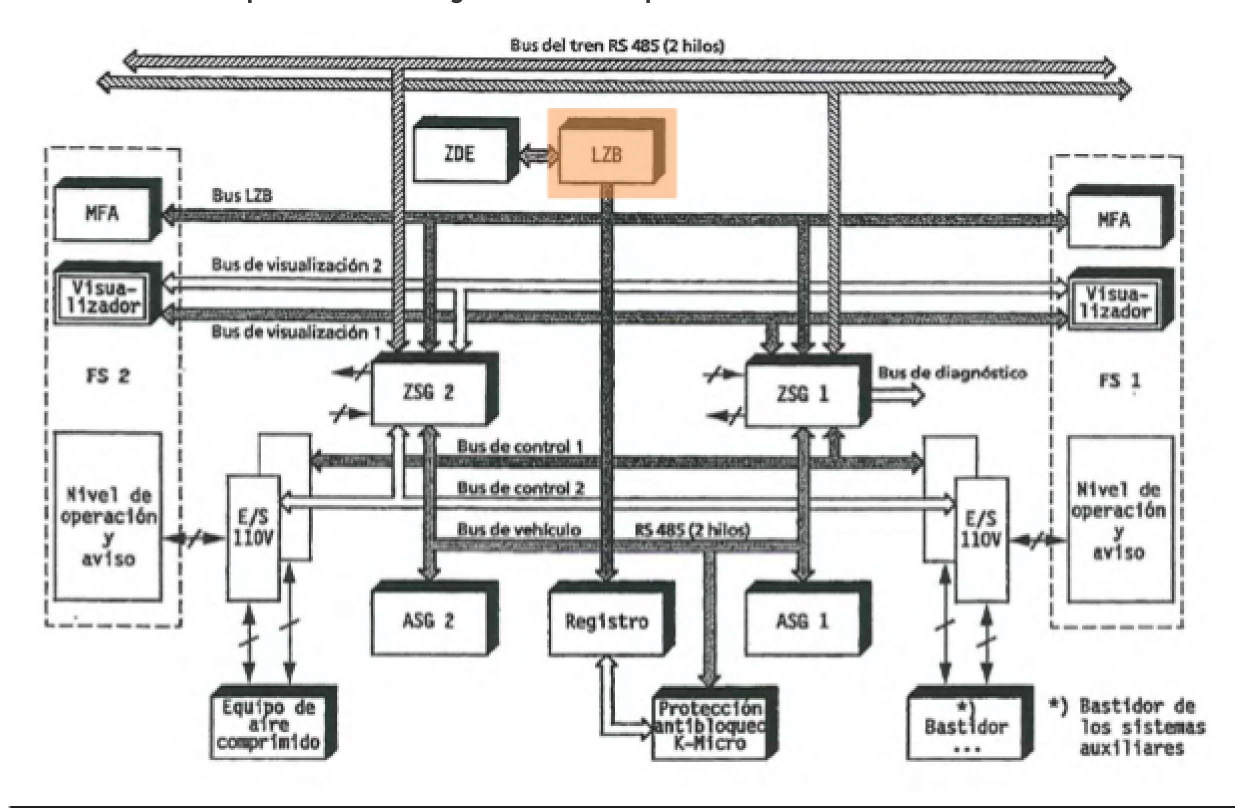
❊ Estas órdenes mostradas siguen la filosofía de que el sistema LZB es de supervisión, no de automatización: sólo actúan cuando el maquinista no ha ejecutado la acción correspondiente. Sin embargo, y debido a la simplicidad de estas órdenes existe la posibilidad (por normativa de conducción) de dejar que sea el sistema el que ejecute estas acciones automáticamente cuando detecta *que no se han realizado* y *deberían haberse ejecutado*.

- **Rebases:** Permite en circunstancias excepcionales el paso por señales que ordenen parada; normalmente el mando de la orden proviene de una persona aunque la ejecución se haga vía LZB.
- **Parada de emergencia en vía contraria:** Relacionada con una función del sistema que permite que otro tren mande una señal de socorro y la central LZB reporte esta orden al tren más cercano.

➜ **Enclavamientos electrónicos *ENCE* de la línea:** Es un **input**. Se trata de los **datos variables** enviados en tiempo real por los elementos fijos que pueden cambiar de estado existentes en la línea ferroviaria: estado de la señalización, cantones y aparatos de vía.



2.1.5. Información procesada y enviada por el vehículo



Ejemplo de interacción hacia el exterior del LZB con otros sistemas del vehículo. Documento *Renfe Operadora*.

El envío de datos entre el vehículo y la *central LZB* es menor que en el caso contrario, utilizando telegramas más cortos de 41 bits y a una velocidad menor, de 600b/s. La frecuencia utilizada es del entorno de los 56 kHz. El equipo embarcado de cada tren envía los siguientes datos a la central LZB por los equipos de tierra:

A. Datos del tren

Los introduce el maquinista en el sistema embarcado del vehículo al iniciar el servicio y dar de alta el vehículo en el sistema LZB. Permite adaptarse tanto a composiciones fijas (unidades de tren) como a composiciones variables (locomotora y vehículos remolcados). **Estos datos son vitales para una correcta identificación y procesado de los datos del vehículo por parte de la central LZB.** En caso de avería en la introducción de datos, existen una serie de *datos sustitutorios* (genéricos) que permiten circular con seguridad en LZB bajo ciertas restricciones a cualquier vehículo.

La introducción de los datos en el sistema embarcado se realiza mediante la citada interfaz *AIDT* (locomotoras) o conmutadores (unidades de tren).

Los datos del tren propiamente dichos y enviados a la central LZB son:

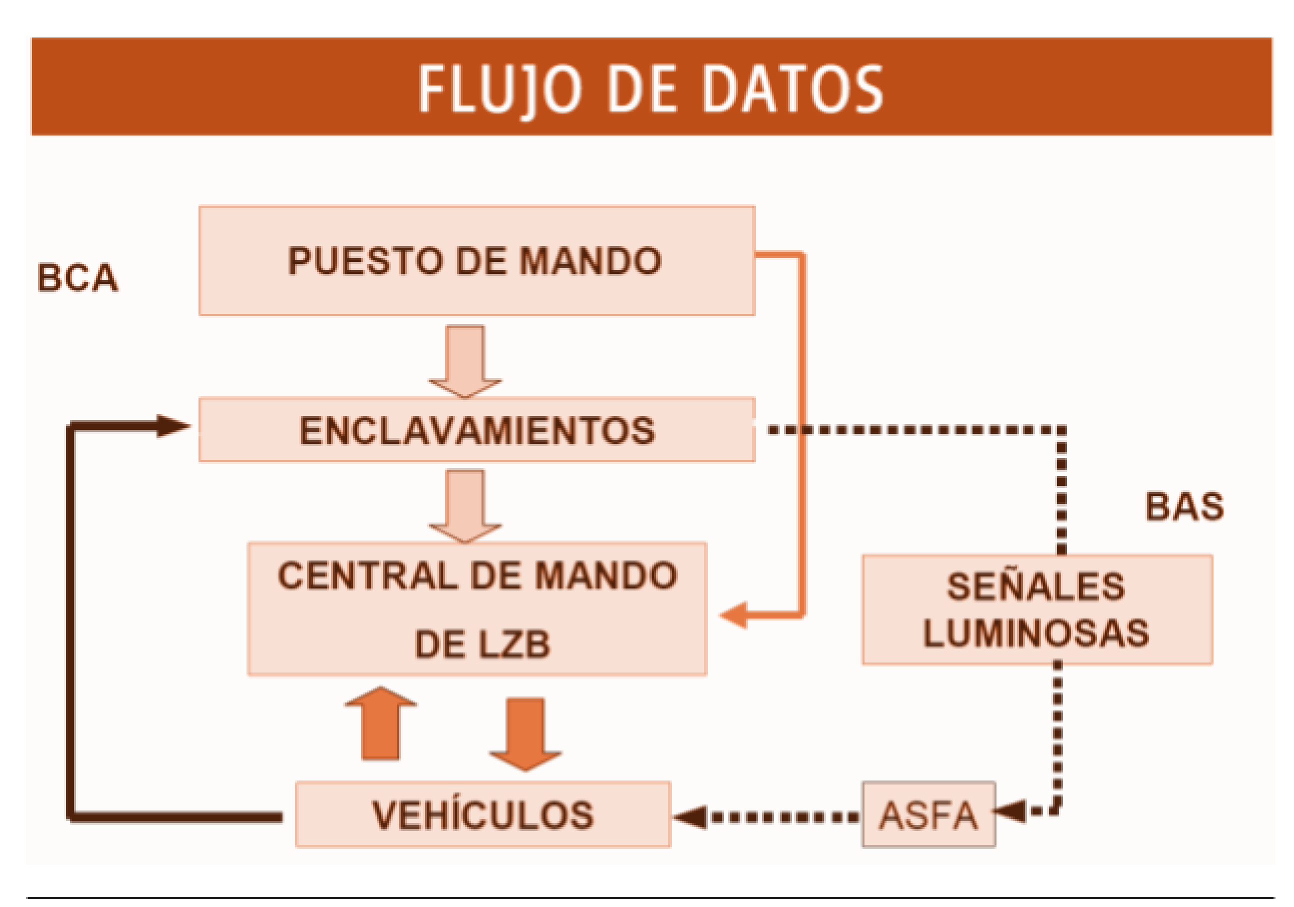
- **Identificación del tren** (número del tren)
- **PFT** o *Porcentaje de Freno del Tren* (capacidad de frenado del vehículo, en %)
- **LT** o *Longitud del Tren*
- **TF** o *Tipo de frenado*
- **VMT** o *Velocidad Máxima del Tren* (velocidad máxima autorizada del vehículo).

B. Datos variables

Son enviados automáticamente por el vehículo durante el servicio.



- **Posición del tren:** Se determina mediante los cruces de los *cables de vía* cada 100m. Esto provoca una inversión de la fase (180º) del flujo inductivo generado por los bucles, que el tren reconoce mediante las *antenas* y le permite así enviar su posición a la central LZB. Por debajo de estos 100m la precisión de localización se realiza mediante los ***GIR** Generadores de impulso de recorrido* del vehículo a intervalos de 12,5m.
- **Velocidad Real:** Es la velocidad registrada por los ***GIR** Generadores de impulso de recorrido* y marca la velocidad real del vehículo en cada momento.



Visión general de los flujos de datos del sistema LZB en funcionamiento normal. Documento *Renfe Operadora*.

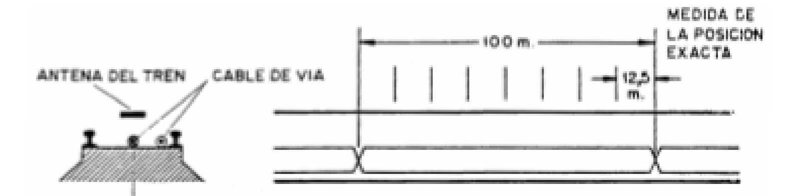


3. Funcionalidades del sistema LZB

El origen y función básica del sistema del consiste en la indicación de señales (límites de velocidad) en cabina debido a la **limitación visual a partir de 200 km/h de poder percibir con seguridad las señales laterales clásicas por parte del maquinista** (concepto de señalización segura en alta velocidad). Además de esa funcionalidad se le atribuyen muchas otras como se describe a continuación:

3.1. Control de la posición del tren

A efectos de localización de los trenes, cada 100 m el *cable de vía* lleva una transposición. Los vehículos detectan la inversión de fase del flujo inductivo producida en los puntos de transposición del cable en vía, que permite saber al vehículo y mediante envío de señales a la *central LZB* dónde está el vehículo. La localización de los cruzamientos es conocida por la central por lo que sirve para corregir la posición del vehículo. Ídem con el sistema por odometría explicado complementario por debajo de los 100m.



Instalación básica de los cables de vía. Los bucles se realizan combinando este esquema básico. Documento RENFE 1992.

3.2. Información al maquinista de la velocidad de circulación

Las indicaciones que proporciona el LZB son las ya citadas *Magnitudes Guía de Conducción* a través del *AICC*: **Velocidad real, Velocidad límite o consigna, Distancia Meta y Velocidad Meta.** También proporciona indicaciones ópticas y acústicas de avisos al maquinista sobre aspectos de circulación y funcionamiento de los sistemas, de los cuales deberá responder mediante el reconocimiento y la actuación de la señalización.







Diferentes modelos de AICC utilizados en *Renfe*.
1: AICC de Alcatel-SEL, locomotora s/319 de *Renfe* . Autor desconocido. Extraída de *tranvíaportal*.
2: AICC de Alcatel-SEL, motriz AVE s/100. Autor Juan4025 de *Forotrenes*.
3: AICC de Siemens. locomotora s/252 de *Renfe*. Se observan todas las luces encendidas en un test de lámparas. Foto Josep González.



3.3. Comunicación VÍA <> TREN:

El sistema LZB permite la comunicación bidireccional vía-tren y tren-vía, de forma que el centro de mando LZB, interconectado con los sistemas de enclavamientos y los centros de control de tráfico, informa al vehículo del estado de la señalización que le precede, las limitaciones que encontrará y la ubicación exacta de las mismas, y a su vez el tren enviará al centro de mando su posición y velocidad en cada momento.

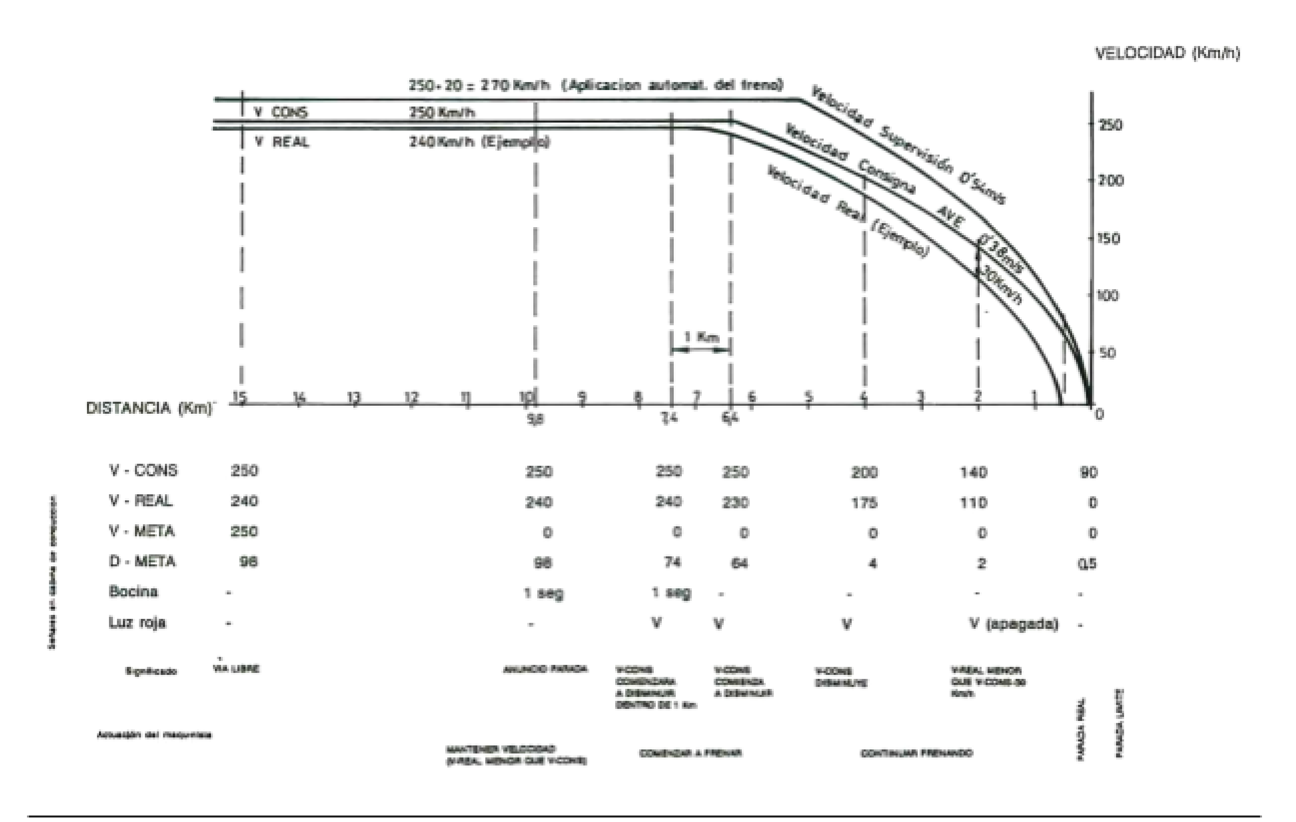
3.4. Cálculo de curvas de frenado y supervisión de velocidad

El sistema embarcado de cada tren, con la información procedente de la *central LZB* y sus *datos de tren* y *datos variables*, **es capaz de calcular las curvas de frenado parabólicas y aplicar el freno** de manera que la velocidad se ajusta a la curva precalculada en caso de no actuar el maquinista.

El sistema distingue entre velocidad (control con valores constantes) y curvas (control con valores parabólicos para frenado). En caso de aplicación del freno éste no se libera hasta que **(1)la velocidad real sea inferior a la velocidad consigna** y **(2)el maquinista se dé cuenta de la aplicación del freno, pudiendo parar el tren totalmente el sistema LZB**.

Si se supera la **velocidad/curva consigna** (límite máximo autorizado) en 5km/h, se alcanza la **velocidad/curva de aviso** y el sistema emitirá un aviso pero no actuará el frenado automático. Si además se supera un porcentaje margen acorde con la *velocidad/curva consigna* (+8,75km/h a +20km/h) se alcanza la **velocidad de supervisión donde se aplica el freno de emergencia**.

Gracias a este sistema de control continuo es capaz de realizarse un bloqueo de control automático donde las unidades se vayan siguiendo una detrás de la otra con distancias objetivo hasta la siguiente unidad. Cuando se produce un fallo o una avería en el sistema embarcado, se produce un fallo en las *Magnitudes Guía de Conducción* y se produce un frenado de emergencia.



Velocidades y curvas de frenado LZB. Entre la velocidad consigna y la de supervisión se hallaría la velocidad de aviso. **Las velocidades en frenado (derecha del gráfico) se denominan curvas.** Documento *Justo Arenillas / Revista Carril nº38*-1992.



3.5. Otras funcionalidades de ayuda a la explotación

Otras funciones interesantes del sistema son:

- **Control del punto de parada según la longitud del tren**
- **Control del lado de apertura de puertas**
- **Control de disyuntores y pantógrafos en zonas neutras o cambios de tensión.**
- **Indicación de emergencia en la vía contraria.**
- **Detención por retroceso indebido.** Hay que aclarar que **una de las funciones que NO CUBRE el LZB es la ejecución de maniobras**, en las que se informa al equipo que se va a ejecutar una maniobra o retroceso y se desactiva el LZB durante el movimiento; sistemas como el *Euroloop* palían parcialmente esta carencia.

3.6. Implementación de sistemas de conducción autónoma

La capacidad del sistema de calcular velocidades de circulación, curvas de frenado y distancias de seguridad, así como el elevado grado de comunicación entre tierra y vehículo, **posibilita la implementación de la función ATC-ATO** *Automatic Train Control - Automatic Train Operation* que son capaces de aplicar la tracción y el freno correspondiente a un trazado preprogramado, **si bien no es una función intrínseca del sistema.**

En España encontramos esta aplicación en la línea de cercanías C-5 de Madrid donde se instaló el sistema LZB con el módulo *ATO* a la vez. En el caso del Madrid-Sevilla la automatización depende de si está instalado o no el correspondiente módulo en los vehículos.

4. Justificación de la instalación del sistema LZB

4.1. Selección del sistema en el pasado

La utilización del sistema LZB en España, en particular para la primera línea de alta velocidad Madrid - Sevilla, fue concebida el año 1989 cuando el Consorcio Hispano-Alemán (CHA) encabezado por Siemens vence al consorcio francés que proponía el sistema TVM utilizado en Francia. La decisión fue tomada por la administración de Renfe de entonces por razones técnicas y presupuestarias.



Publicidad aparecida en revistas del sector del sistema LZB ofertado por la empresa SEL antes de su fusión con Alcatel. Revista Vía Libre, julio de 1987.

Económicamente, la oferta alemana fue mil millones de pesetas de la época más barata que la francesa. Sin embargo, el factor técnico influyó profundamente en la decisión final. El sistema alemán LZB que se había desarrollado en 1974 y que funcionaba en la red alemana desde 1982, había demostrado en algunos años su eficacia y fiabilidad.

A diferencia de la opción francesa, el LZB propiciaba la conducción automática porque podía controlar tanto las aceleraciones como el frenado de los vehículos. El intercambio de información entre el centro de control y los trenes se produce de forma bidireccional e indistintamente. Además, el sistema francés transmite la información a través del carril, que limita la capacidad de transmisión, y no del cable tendido como el LZB. Por aquella época el sistema ya estaba homologado por la UIC y permitía ser instalado en múltiples tipos de vehículos, a diferencia del TVM que estaba limitado a los trenes de alta velocidad.

Cabe destacar que el sistema LZB en aquella época permitía una mayor densidad de tráfico, especialmente en las entradas y salidas de grandes ciudades, haciendo posible un menor número de vías. Esto hacía compatible el tráfico de mercancías con el de viajeros, que fue la opción inicial de diseño elegida para la nueva línea Madrid - Sevilla. Curiosamente, el sistema no se llegó a implementar en las estaciones terminales y la línea acabó siendo de tráfico exclusivo de pasajeros.

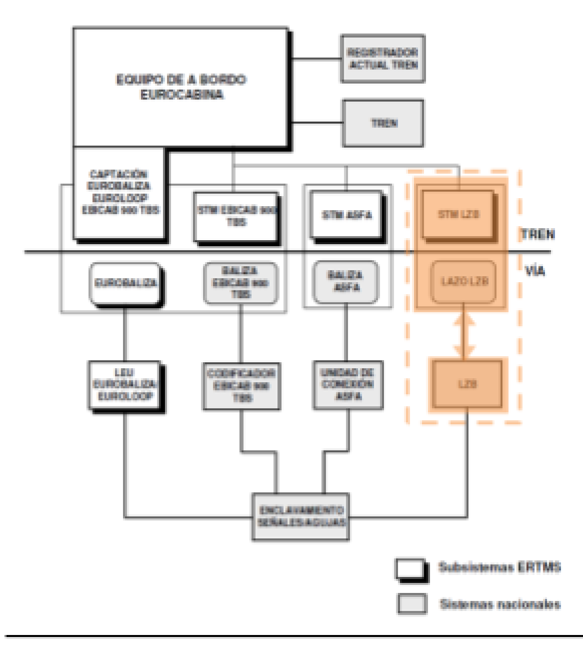
Finalmente, se debe mencionar que la opción francesa del TVM estaba aún en fase de pruebas en aquél momento (si bien existía en servicio comercial desde 1981 una versión con menos prestaciones en la línea París-Lyon, el *TVM300*); y que la opción japonesa, que era la tercera opción de sistema de señalización y protección para alta velocidad disponible, no se ajustaba a la metodología utilizada en España.

La instalación del LZB en el Madrid-Sevilla la realizó la empresa alemana SEL *Standard Elektrik Lorenz AG*, fusionada durante el transcurso de las obras (1989-1992) con la francesa *Alcatel*.



4.2. Realidad actual: Migración del sistema LZB al sistema ERTMS/ETCS-2

A mediados de la próxima década (2020 en adelante), la red ferroviaria alemana perteneciente a la administración estatal *DB* debería estar reemplazando sus sistemas LZB por ETCS nivel 2 siguiendo un plan de migración a este último sistema. Cerca de un 75% de los tramos actuales con instalación de LZB tendrán un doble equipamiento al incluir el ETCS-2 y casi la totalidad de los tramos podrán ser utilizados con material equipado con LZB, hasta el 2026. Posteriormente, en el 2030 se prevé dar de baja del sistema LZB, dado que el fabricante sólo podrá garantizar el mantenimiento del sistema hasta ese año. Los proyectos pilotos hechos hasta el momento muestran que el ETCS-2 puede suplir las funciones del LZB, e incluso a tener un mayor rendimiento en la función del bloqueo.



Ejemplo de instalación actual del sistema LZB "esclavo" al sistema ETCS mediante un módulo STM. Gráfico de Marco Antonio Camargo Rodríguez.

En España, 64 trenes de la Serie 102 y 103 (2004 en adelante) fueron equipados con el sistema de protección ETCS donde el sistema LZB se ha integrado como un sistema adicional de protección al tren mediante un módulo traductor STM *Specific Transmission Module*. En líneas equipadas con LZB el *STM* recoge los datos, los traduce al sistema ETCS y se los envía, de tal forma que el procesado se lleva a cabo por el nuevo sistema. Posteriormente todos los trenes adquiridos para servicios de larga distancia o alta velocidad han seguido esta filosofía por lo que no se implementan sistemas de abordo exclusivos de LZB.

Entre las razones por las que España elige la implantación del LZB frente al sistema ETCS-2 (línea Madrid-Barcelona, 1998 y posteriores obras nuevas) se encuentran que el coste de instalación y mantenimiento es inferior al de otros sistemas alternativos, mejorando las prestaciones y funcionalidad que ofrece el LZB. Adicionalmente se entendió que el ETCS como parte del sistema ERTMS permitía la interoperabilidad, cosa que el LZB no garantizaba al ser un sistema propietario y no un estándar, aunque no fue el principal motivo de elección. Finalmente, la reducción en el coste se logró, puesto que en el primer tramo comercial dotado con ERTMS, Madrid - Lleida (2004) , el coste por kilómetro de las instalaciones de seguridad y comunicaciones fue un 43% frente a la ya existente Madrid-Sevilla.

En conclusión, el sistema LZB, aunque propietario, ha demostrado su eficiencia y sus altas prestaciones en estas últimas 4 décadas. Sin embargo, en aras de la interoperabilidad y la reducción de costes de ciclo de vida, los países europeos están adoptando por la migración al sistema ERTMS/ETCS-2, no existiendo a priori ninguna justificación técnica en la no-adopción del sistema.



5. Usuarios e instalaciones LZB

A comienzos del 2006, Europa contaba con 2920 kilómetros de línea equipados o en proceso de instalación del sistema LZB.

En Alemania existían 50 centrales de LZB en servicio a lo largo de 2250 kilómetros de línea. España tenía en servicio 11 *centrales LZB* a lo largo de cerca de 530 kilómetros, y Austria 3 *centrales LZB* en servicio a lo largo de 140 kilómetros.

En relación al material rodante, en Alemania el consorcio LZB 80 compuesto por las empresas *Alcatel TSD* y *Siemens*, había equipado hasta la fecha con el sistema LZB unas 2600 unidades de la Deutsche Bahn (DB).

5.1. LZB en principales redes ferroviarias principales

5.1.1. Alemania (DB)

Dentro de la red ferroviaria de la DB, en los inicios de la alta velocidad, el sistema LZB fue el requisito básico para los servicios de velocidades que superaran los 160 km/h, siempre que el estado de la infraestructura de la vía lo permitiese.

En el año 2014, la red alemana contaba ya con cerca de 2400 kilómetros de línea equipada con el sistema LZB, permitiendo alcanzar velocidades máximas de servicio de hasta 300 km/h como en los tramos siguientes:

- **Hannover - Würzburg:** construida entre 1973 y 1991, cuenta con 327 kilómetros de línea, a velocidad máxima de 280 km/h.
- **Köln - Frankfurt:** construida entre 1995 y 2002, es un tramo de 180 kilómetros, a velocidad máxima de 300 km/h.
- **Mannheim - Stuttgart:** construida entre 1976 y 1991, tramo de 98,8 kilómetros, permite velocidades de hasta 280 km/h.
- **Nürnberg - Ingolstadt:** inaugurada en mayo del 2006, cuenta con 170,8 kilómetros de línea, a velocidad máxima de 300 km/h.



Extensión de las líneas equipadas con LZB en Alemania. Las líneas grises son la red de la DB, las líneas rojas instalaciones con LZB y las azules con ETCS. Gráfico Wikipedia.

5.1.2. Austria (ÖBB)

Desde el año 1991, la línea Westbahn de 312 kilómetros, que une Viena con Salzburgo, y que permite velocidades de hasta 250 km/h, está equipada con el sistema LZB en tres tramos que comprenden 136,4 kilómetros:

- St. Pölten–Ybbs an der Donau (km 63,5 – km 107,3)
- Amstetten– Linz Kleinmünchen (km 125,4 – km 183,3)



- Linz Hauptbahnhof–Attnang-Puchheim (km 190,5 – km 240,4)



Gráfico de la línea Westbahn de la ÖBB. Fuente: OpenStreetMaps

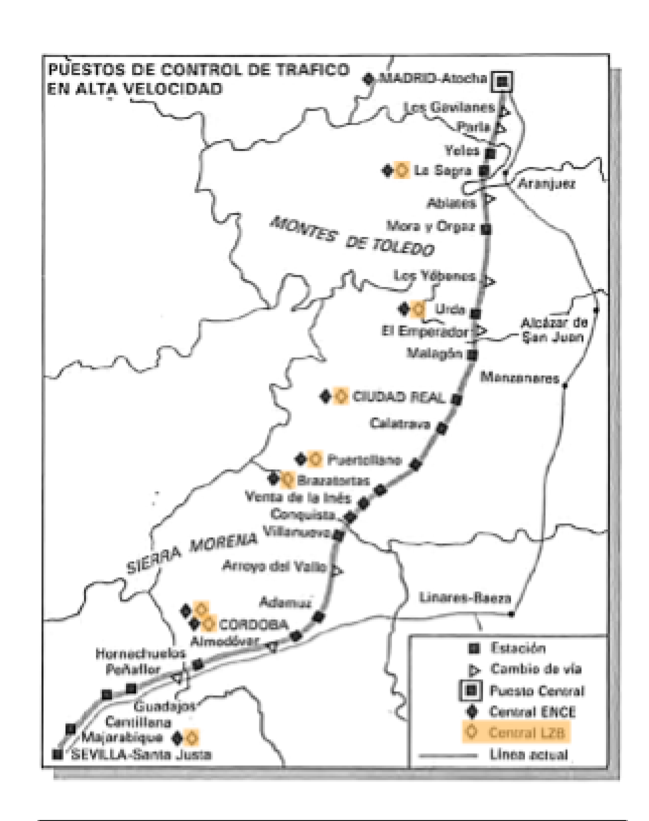
5.1.3. España (Adif)

En España se instala a raíz de la necesidad de un sistema maduro capaz de permitir la circulación segura a 250km/h para el NAFA *Nuevo Acceso Ferroviario a Andalucía*, posterior Madrid-Sevilla. Básicamente, en la época de construcción había únicamente 3 sistemas de protección continua con prestaciones altas: el sistema japonés ATC, el TVM francés y el LZB alemán.

El sistema nipón no era compatible con los estándares europeos y el sistema francés equivalente estaba aún en fase de pruebas, además de haber sido diseñado exclusivamente para su producto TGV. Entre estas valoraciones técnicas, si se añade que el sistema alemán era más barato, se entiende la decisión por optar por este último.

En la red de Adif, se tienen los siguientes tramos equipados con LZB:

- **Madrid – Córdoba – Sevilla:** 9 centrales LZB en 480 kilómetros de línea. Tramo en servicio desde abril de 1992. Terminal Madrid-Atocha: ha sido también equipada con el sistema LZB en marzo del 2004. Ramal a Toledo: 20 kilómetros. Puesto en servicio con LZB en noviembre del 2005.



Línea de alta velocidad Madrid-Sevilla (1992). Se destaca la situación de las 8 centrales LZB de esta línea, normalmente compartidas con otros elementos como los enclavamientos electrónicos. Revista *Trenes Hoy* nº40, noviembre de 1990.

- **Córdoba – Málaga**: 2 centrales LZB en 102 km de la línea, en servicio desde diciembre del 2006. Perteneciente al tramo Córdoba–Málaga con 3 centrales LZB a lo largo de 154 kilómetros; actualmente como sistema de respaldo del ETCS.

La línea *Madrid - Sevilla* es la instalación inicial y las otras dos líneas son ramales de esta, por lo que por razones de explotación era favorable seguir instalando el sistema LZB. El modelo equipado en línea



corresponde al *LZB-L72-E* y los vehículos originales equipan el *LZB 80*. En vehículos posteriores se usa el ya descrito *STM*.

✲ Cierta documentación adicional indica que en la red ferroviaria autonómica vasca (Euskotren) se equipa el sistema LZB, no siendo así ya que se utiliza un sistema muy similar pero de origen francés denominado Euroloop, desarrollado posteriormente al LZB y que trata de suplir algunas carencias de este.

5.2. LZB en redes urbanas

5.2.1 Cercanías de Múnich (S-Bahn München) *DB*

Con la intención de lograr intervalos de 90 segundos entre trenes (40 trenes por hora por sentido), en 1972 se decidió por instalar el sistema LZB en la red troncal de cercanías de Múnich. Por una serie de contratiempos técnicos de señalización y espacio para la instalación de equipos, durante la década de los 1970 el sistema LZB fue utilizado parcialmente en servicios regulares hasta su desconexión en 1983.

Posteriormente y con el sistema LZB dado de baja, y optimizando otro sistema de señalización se lograba obtener frecuencias de 24 trenes por hora por sentido (intervalo de paso de 150 segundos).

Ha sido en 2004, donde se ha vuelto a poner en servicio el sistema LZB, optimizando todos los sistemas de apoyo gracias a las nuevas tecnologías, y se ha logrado aumentar la frecuencia a 30 trenes por hora por sentido (120 segundos de intervalo), e incluso pudiendo llegar 37,5 trenes por hora por sentido (intervalos de 96 segundos).

5.2.2 Línea C5 madrileña (Cercanías Madrid) *Adif/Renfe operadora*

La línea C5 Móstoles-Atocha-Fuenlabrada está equipada con el sistema LZB que comprende 2 centrales en 45 kilómetros de recorrido y 76 unidades de la Serie 446 desde el año 1994, debido a la necesidad de poner en circulación trenes en intervalos inferiores a los 3 minutos.

5.2.3 Redes metropolitanas

Los siguientes metros están equipados actualmente con LZB:

- **Viena (Austria):** con excepción de la línea U6, la red del metro de Viena cuenta con este sistema desde su construcción y puesta en marcha.
- **Múnich (Alemania):** al igual que el metro de Viena, esta red de metro se construyó con LZB desde su concepción.
- **Nuremberg (Alemania):** red equipada con LZB, teniendo el primer sistema donde trenes sin conductor y convencionales comparten un tramo de la línea.

✲ La red de trenes suburbanos del este de Londres Docklands Light Railway DLR utiliza una tecnología de protección y de conducción automática desarrollada en base al sistema LZB.



6. Bibliografía consultada

- LIBRO QUINTO. ESPECIFICACIÓN TRANSITORIA 3 SISTEMA DE PROTECCIÓN AUTOMÁTICA DE TRENES LZB. Borrador del Reglamento de Circulación Ferroviario (RCF,2015)
- Sistema LZB. Madrid Sevilla, Bif. Málaga-Málaga, La Sagra-Toledo. Dirección General de Servicios de Alta Velocidad - Larga Distancia. *Dirección de Programación y Coordinación de la Producción. Renfe* 2007
- PFC. SISTEMA EUROPEO DE GESTIÓN DEL TRÁFICO FERROVIARIO, ERTMS-N1, PARA LÍNEAS CONVENCIONALES ING. INDUSTRIAL. DEP. INGENIERÍA MECÁNICA. *Camargo Rodríguez, Marco A.* 2010
- Sistemas de señalización y control ferroviario en alta velocidad. Univ. de Valladolid. Esc. de Ingenierías Industriales. Grado en Ingeniería Eléctrica. *Rodríguez Cea, Ángel Iván*. 2015
- Revista CARRIL. nº38 Diciembre 1992. Artículo "Alta Velocidad Española". *Arenillas Melendo, Justo*.
- Alta velocidad en España, líneas y trenes. Col monografías vía libre nº1. *García álvarez, A. et al*. FFE 2009
- Explotación de líneas de Ferrocarril. *López Pita, Andrés*. Ed. UPC 2008
- Ingeniería Ferroviaria. *Fuentes Losa, Julio; Gonzalez Fernández, Francisco Javier*. UNED 2010
- Proyecto N.A.F.A. Madrid-Sevilla (folleto). *Consorcio Hispano-Alemán*. 1992
- Revista Trenes HOY, nº 26 (Mayo 1989) y nº40 (Noviembre 1990). *Ara, Carlos* y *García Barez*, J. Antonio respectivamente.
- Revista Maquetren 96 / Marzo-2001. *Galán Eruste, Manuel*
- Revista Vía Libre. Julio 1987 p.4 ; Marzo 1990 (Dossier de Señalización); Noviembre 1990 p.48; Mayo 1991; Junio 1992; Noviembre 1992 p.65; Julio 1993 (Dossier Conducción Automática); Octubre 1993 (Dossier); Septiembre 1994 (Dossier Instalaciones 220 km/h); Septiembre 1998 (Dossier Interoperabilidad)